

**Державний вищий навчальний заклад
“Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”**

Кафедра фізики і методики викладання

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор _____ С.В. Шарин
“ ____ ” _____ 2019 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Статистична фізика і термодинаміка

Спеціальність 104 - Фізика і астрономія

Фізико-технічний факультет

Івано-Франківськ – 2019

**Робоча програма курсу «Статистична фізика і термодинаміка»
для студентів за спеціальністю 104 – Фізика і астрономія
„___” _____ 2019 р. – 15 с.**

Розробник: Кланічка В.М., професор, кандидат фізико-математичних наук

**Робоча програма затверджена на засіданні кафедри теоретичної та
експериментальної фізики, протокол від “___” _____ 20__ р. № ___**

Завідувач кафедри _____ (доц. Ліщинський І.М.)

“___” _____ 20__ р.

Схвалено методичною комісією факультету.

Протокол від “___” _____ 20__ р. № ___

Голова _____ (проф. Яцура М.М.)

“___” _____ 20__ р.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 3.0	Галузь знань 10 – природничі науки	Нормативна	
Модулів – 1	Спеціальність (професійне спрямування): 104 – фізика і астрономія	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 2		4 -й	____-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання реферат		Семестр	
Загальна кількість годин - 189		8-й	____-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5 самостійної роботи студента – 4	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	Лекції	
		60 год.	____ год.
		Практичні, семінарські	
		30 год.	____ год.
		Лабораторні	
		–	____ год.
		Самостійна робота	
		50 год.	____ год.
Індивідуальні завдання: –			
Вид контролю: 1 екзамен			

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – **1,4**

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

2.1. Мета викладання дисципліни:

Вивчення основних законів термодинаміки рівноважних процесів, термодинамічних властивостей макроскопічних систем, основних експериментальних закономірностей, які лежать в основі законів термодинаміки, статистичних методів опису класичних і квантових макроскопічних систем, зв'язку законів термодинаміки і статистичних методів опису, а також формування у студентів знань і умінь, що дозволяють моделювати термодинамічні явища і проводити чисельні розрахунки відповідних фізичних величин.

2.2. Завдання вивчення дисципліни.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

Знати:

- базову термінологію, що належить до термодинамічних явищ, основні поняття, закони термодинаміки і статистичної механіки та їх математичний вираз;
- фундаментальні досліди, які лежать в основі законів термодинаміки;
- логіку побудови термодинаміки на основі фундаментальних дослідів;
- основні статистичні методи опису макроскопічних систем.

Вміти:

- розкрити роль статистичних закономірностей у природі, сформулювати основні завдання теорії електромагнетизму, встановити область застосовності електромагнітної теорії, описати її структурні елементи і поняття;
- розглянути основні експериментальні закономірності термодинамічних явищ, статистичні методи опису властивостей речовини, структуру і математичну форму основних рівнянь статистичної механіки і термодинаміки, особливості їх використання при описі різних явищ;
- розглянути основні методи експериментального і теоретичного дослідження термодинамічних явищ, використання термодинамічних явищ у сучасних технологіях;
- проаналізувати основні принципи моделювання термодинамічних явищ, встановити область застосовності цих моделей, розглянути способи обчислення фізичних величин, які характеризують явища;
- продемонструвати зв'язок фундаментальних дослідів із законами термодинаміки за допомогою відомих математичних методів;
- вирішувати задачі з даної дисципліни;
- моделювати термодинамічні явища і проводити чисельні розрахунки відповідних фізичних величин у загальноприйнятих системах одиниць.

2.3. Мета проведення лекцій.

Ознайомлення студентів з основними термодинамічними і статистичними закономірностями макроскопічних систем, а також навчання їх застосовувати ці знання у галузі фізики твердого тіла, формування наукового світогляду.

2.4. Завдання проведення лекцій.

Основні уявлення статистичної механіки. Теорія ідеальних систем. Статистична теорія неідеальних систем.

Теорія рівноважних систем. Основні закони і методи термодинаміки. Умови рівноваги і стійкості термодинамічних систем. Застосування термодинаміки.

Теорія нерівноважних систем Теорія флуктуацій. Броунівський рух і випадкові процеси. Основи термодинамічної теорії необоротних процесів. Кінетичні рівняння в статистичній механіці.

Вимоги до знань та вмінь:

Знати:

поняття термодинамічних систем, їх основні властивості і засоби описування; визначення рівноважних і нерівноважних процесів, перший та другий закони термодинаміки, термодинамічні потенціали, теорему Нернста, фазові переходи першого та другого роду, загальні умови рівноваги та стійкості термодинамічних систем, умови рівноваги двох фаз, основні уявлення статистичної механіки, поняття про мікроскопічний опис стану системи, квантове і класичне рівняння Ліувілля, мікроканонічний розподіл, канонічний розподіл), основи квантової статистики, статистичну теорію ідеальних систем (розподіл Бозе-Ейнштейна і Фермі-Дірака), теорію Ейнштейна і Дебая для теплоємності твердих тіл, ланцюжок рівнянь Боголюбова, рівняння Больцмана, поняття про флуктуації фізичних величин, поняття про стохастичні процеси, марковські процеси, рівняння Смолуховського і Фоккера-Планка, співвідношення Онзагера, принцип Ле-Шательє.

Вміти:

обчислювати термодинамічні характеристики системи у стані рівноваги, виводити співвідношення між похідними термодинамічних величин, розраховувати роботу ідеального газу при політропних процесах, застосовувати метод термодинамічних потенціалів і метод циклів для розв'язування прикладних задач, знаходити ККД циклів, використовувати розподіл Гіббса, розв'язувати задачі із застосуванням розподілів Фермі-Дірака і Бозе-Ейнштейна, визначати теплоємність твердих тіл при низьких температурах, виводити рівняння Больцмана із рівняння Ліувілля, визначати флуктуації термодинамічних величин для квантового і класичного ідеального газу, за допомогою лінеаризованого рівняння Больцмана у наближенні здійснювати розрахунки кінетичних коефіцієнтів металів.

2.5. Мета проведення практичних (семінарських) занять.

Мета практичних занять — розвиток у студентів умінь і навичок розв'язувати задачі з термодинаміки і статистичної фізики (що сприяє більш ефективному вивченню відповідних теоретичних питань курсу), а також навчання використовувати набуті знання для розв'язування прикладних задач (зокрема у галузі фізики твердого тіла).

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль № 1.

Тема 1. Основні представлення статистичної фізики. Предмет статистичної фізики і термодинаміки. Макро і мікроопис, фазовий простір, статистичний ансамбль, статистична функція розподілу. Теорема Ліувіля, роль енергії в статистичній фізиці. Мікроканонічний розподіл Гіббса. Статистична вага, ентропія і температура макроскопічної системи.

Тема 2. Статистичне тлумачення законів термодинаміки. Ентропія системи як міра неупорядкованості. Другий закон термодинаміки для нерівноважних процесів, напрямок переходу енергії при контакті нерівноважних систем. Обчислення ентропії і температури ідеального газу за допомогою мікроканонічного розподілу.

Тема 3. Канонічний розподіл Гіббса. Функція канонічного розподілу Гіббса. Застосування канонічного розподілу Гіббса до класичного газу, розподіли Максвелла і Больцмана,

Тема 4. Термодинамічні функції та основні співвідношення термодинаміки. Термодинамічна рівновага, внутрішня енергія, кількість тепла і робота. Основна термодинамічна тотожність. Термодинамічні потенціали і співвідношення між термодинамічними похідними. Процеси стисливості, розширення і нагрівання. Адіабатичний процес, рівняння Пуасона.

Тема 5. Термодинамічні функції систем із змінним числом часток. Залежність термодинамічних величин від числа часток, хімічний потенціал. Рівновага у зовнішньому полі.

Тема 6. Статистична термодинаміка ідеальних і слабонеідеальних газів. Статистична сума і вільна енергія. Термодинамічні функції ідеального класичного газу. Парадокс Гіббса. Слабонеідеальний одноатомний газ - потенціал міжмолекулярної взаємодії, віріальний розклад. Інтерполяційне рівняння Ван-дер-Ваальса, інверсія коефіцієнта Джоуля -Томсона. Термодинамічна теорія збурення.

Тема 7. Статистична термодинаміка плазми. Термодинамічні функції класичної плазми в наближенні Дебая: наближення Дебая-Хюккеля, екранування Дебая, внутрішня і вільна енергія плазми, рівняння стану.

Тема 8. Рівновага фаз і критичні явища. Умови рівноваги фаз. Діаграми фазової рівноваги. Фазові переходи першого роду. Формула Клапейрона-Клаузіуса. Залежність тиску від температури уздовж кривої рівноваги рідина-газ, тверда тіло-газ. Критична точка, умови стійкості критичного стану. Критичні параметри для рівняння стану Ван-дер-Ваальса.

Тема 9. Фазові переходи другого роду. Приклади і діаграми фазових переходів другого роду. Феромагнетик поблизу точки Кюрі: наближення самоузгодженого поля, модель Ізінга в наближенні Бреґга-Вільямса, термодинамічна теорія Ландау. Критичні показники.

Змістовий модуль № 2.

Тема 10. Статистична теорія квантових систем. Статистичний розподіл для квантових систем. Характеристичні температури. Статистична сума та інтеграл для одноатомного газу. Квантова теорія теплоємності ідеальних молекулярних газів: обертальні і коливні ступені вільності, обертальна теплоємність гетероядерних молекул, коливна теплоємність.

Тема 11. Квантові гази. Труднощі класичної статистики. Великий канонічний розподіл Гіббса. Тотожність часток і розподіли Фермі і Бозе. Термодинамічні функції ідеальних квантових газів. Умови виродження класичних властивостей газів. Критерії застосовності розподілу Максвелла-Больцмана. Вироджений електронний газ. Теплоємність Фермі-газу, теплоємність електронів металу й ізотопу гелія-три. Парамагнетизм вільних електронів металу. Одночасткова щільність енергетичних станів ферміонів, походження зонної структури. Вироджений Бозе-газ, конденсація. Термодинаміка рівноважного електромагнітного випромінювання. Реліктове випромінювання.

Тема 12. Статистична термодинаміка конденсованих середовищ. Тепловий рух атомів кристалу і проблема теплоємності. Модель Ейнштейна твердого тіла. Термодинаміка твердого тіла в наближенні Дебая, характеристична температура Дебая, достоїнства і недоліки моделі..

Тема 13. Флуктуації в макроскопічних системах. Дисперсія і відносні флуктуації. Флуктуації енергії різних термодинамічних систем. Принцип Больцмана і розподіл Гаусса. Флуктуації основних термодинамічних величин. Молекулярне розсіювання світла.

Тема 14. Основи нерівноважної термодинаміки. Локалька рівновага. Закони збереження. Потоки і термодинамічні сили. Лінійні закони. Співвідношення взаємності Онзагера. Перехресні ефекти.

Тема 15. Броунівський рух і випадкові процеси. Фізичні характеристики броунівського руху. Еволюція малої системи в термостаті. Випадкові стаціонарні марківські процеси. Рівняння Смолуховського. Рівняння Фоккера-Планка та його найпростіше застосування. Спектральні представлення в теорії випадкових процесів.

Тема 16. Кінетичні рівняння. Рівняння Боголюбова для нерівноважних функцій розподілу. Ієрархія масштабів часу і принципи скорочення опису в динамічній теорії Боголюбова. Кінетичне рівняння Боголюбова. Н-теорема. Мікроскопічна зворотність і макроскопічна незворотність. Кінетичне рівняння з релаксаційним членом і його напростіші застосування. Рівняння з самоузгодженим полем Власова. Лінеаризоване рівняння Власова. Плазмові коливання. Затухання Ландау. Коефіцієнти переносу.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль № 1.						
Тема 1. Основні представлення статистичної фізики.	6	2	1	–	–	2
Тема 2. Статистичне тлумачення законів термодинаміки.	6	2	1	–	–	2
Тема 3. Канонічний розподіл Гіббса.	8	4	2	–	–	2
Тема 4. Термодинамічні функції та основні співвідношення термодинаміки.	10	4	2	–	–	4
Тема 5. Термодинамічні функції систем із змінним числом часток.	8	4	2	–	–	2
Тема 6. Статистична термодинаміка ідеальних і слабонеідеальних газів.	10	4	2	–	–	4
Тема 7. Статистична термодинаміка плазми.	10	4	2	–	–	4
Тема 8. Рівновага фаз і критичні явища..	10	4	2	–	–	4
Тема 9. Фазові переходи другого роду.	10	4	2	–	–	2
Разом за змістовим модулем № 1	76	32	16	–	–	28
Змістовий модуль № 2.						
Тема 10. Статистична теорія квантових систем.	14	4	2	–	–	4

Тема 11. Квантові гази.	16	4	2	–	–	4
Тема 12. Статистична термодинаміка конденсованих середовищ.	14	4	2	–	–	2
Тема 13. Флуктуації в макроскопічних системах.	12	4	2	–	–	4
Тема 14. Основи нерівноважної термодинаміки.	14	4	2	–	–	4
Тема 15. Броунівський рух і випадкові процеси.	12	4	2	–	–	2
Тема 16. Кінетичні рівняння.	12	4	2	–	–	2
Разом за змістовим модулем № 2	64	28	14	–	–	22
Усього годин за 1 семестр	140	60	30	–	–	50

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Змістовий модуль № 1.		
1.	Розподіл Максвелла-Больцмана. Обчислення середніх.	1
2.	Розподіл Максвелла-Больцмана. Випадок ідеального газу.	1
3.	Поняття про характеристичні функції. Співвідношення Максвелла.	1
4.	Метод визначників.	2
5.	Теплоємність у різних процесах.	2
6.	Доведення термодинамічних співвідношень.	2
7.	Ентропія системи.	2
8.	Рівняння адіабати для різних рівнянь стану.	2
9.	Політропний процес.	1
10.	Фазові переходи і критичні явища.	2
Змістовий модуль № 2.		
1.	Статистична вага. Статистичні ансамблі.	1

2.	Рівноважна статистика класичних систем. Класичний ідеальний газ.	2
3.	Релятивістський ідеальний газ. Система класичних гармонічних осциляторів	2
4.	Рівноважна статистика квантових систем.	2
5.	Розподіл Гіббса.	1
6.	Квантова статистика. Фермі-системи.	2
7.	Квантова статистика. Бозе системи.)	2
8.	Теорія флюктуацій.	1
9.	Елементи теорії нерівноважних процесів. Кінетичне рівняння Больцмана.	1

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	–	–

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Змістовий модуль №1.	
1.	Обчислення ентропії і температури ідеального газу за допомогою мікроканонічного розподілу.	2
2.	Застосування канонічного розподілу Гіббса до класичного газу, розподіли Максвелла і Больцмана,	4
3.	Процеси стисливості, розширення і нагрівання. Адіабатичний процес, рівняння Пуасона.	4
4.	Інтерполяційне рівняння Ван-дер-Ваальса, інверсія коефіцієнта Джоуля -Томсона. Термодинамічна теорія збурення.	4
5.	Залежність тиску від температури уздовж кривої рівноваги рідина-газ, тверда тіло-газ. Критична точка, умови стійкості критичного стану. Критичні параметри для рівняння стану Ван-дер-Ваальса.	4
6.	Феромагнетик поблизу точки Кюрі: наближення самоузгодженого поля, модель Ізінга в наближенні Брегга-Вільямса, термодинамічна теорія Ландау. Критичні показники.	2
	Змістовий модуль № 2.	
1.	Обертальна теплоємність гетероядерних молекул, коливна теплоємність.	4
2.	Парамагнетизм вільних електронів металу. Одночасткова щільність енергетичних станів ферміонів, походження зонної структури.	4

3.	Вироджений Бозе-газ, конденсація. Термодинаміка рівноважного електромагнітного випромінювання. Реліктове випромінювання.	4
4.	Термодинаміка твердого тіла в наближенні Дебая, характеристична температура Дебая, достоїнства і недоліки моделі..	4
5.	Молекулярне розсіювання світла.	4
6.	Співвідношення взаємності Онзагера. Перехресні ефекти.	
7.	Спектральні представлення в теорії випадкових процесів.	4
8.	Плазмові коливання. Затухання Ландау. Коефіцієнти переносу.	4

9. Індивідуальні завдання

Реферати:

1. Міжмолекулярні взаємодії та рівняння стану речовин.
2. Використання ґраткових теорій для опису термодинамічних властивостей щільних систем.
3. Узагальнений розподіл Гіббса і його застосування до статистичної фізики розчинів.
4. Проблема фазових переходів. Різні методи розрахунку критичних параметрів.
5. Відмінності у видах силових взаємодій частинок, термодинамічні властивості твердих тіл.
6. Немарківські процеси в фізиці кінетичних явищ.
7. Принцип мінімуму виробництва ентропії та його застосування в теорії утворення структур нерівноважних процесів.
8. Ефект Джоуля - Томсона.
9. Метод адіабатичного розмагнічування та його застосування для отримання наднизьких температур.
10. Фазові переходи другого роду. Теорія Ландау.
11. Фотонний і фононний газ.
12. Ефект Джозефсона у надпровідних станах.
13. Солітони. Солітоновий СВЧ генератор.

10. Методи навчання

Лекції, презентації, практичні заняття, захист рефератів, індивідуальна робота.

11. Методи контролю

Поточний контроль, контрольне тестування, співбесіда

12. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота						Екзаме н	Сума
Змістовий модуль №1			Змістовий модуль № 2				
поточний контроль	контроль на робота	колоквіум	поточний контроль	Контроль на робота	колоквіум	50	100
5	10	10	5	10	10		

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
80 – 89	B	добре	
70 – 79	C		
60 – 69	D	задовільно	
50 – 59	E		
26 – 49	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-25	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Критерії оцінки відповідей на іспиті з курсу «Статистична фізика і термодинаміка»

Екзаменаційний білет містить два питання з теоретичного курсу та одну задачу.

Оцінка за відповідь виставляється за чотирьохбальною системою : "відмінно", "добре", "задовільно", "незадовільно".

Оцінка "відмінно" виставляється за :

- правильне, повне, глибоке і сучасне тлумачення обох питань з екзаменаційного білета, вірне рішення задачі;
- послідовний, логічний, обґрунтований, безпомилковий виклад необхідних математичних супроводжень;
- правильну відповідь на додаткові питання;
- вміле користування довідковою літературою.

Оцінка "добре" виставляється за :

- правильне і сучасне тлумачення обох питань екзаменаційного білета та вірне рішення задачі;
- допущення окремих несуттєвих помилок при викладі необхідних математичних супроводжень;

- неповну відповідь на додаткові питання;
- вміле користування довідковою літературою.

Оцінка "задовільно" виставляється за :

- знання і розуміння взагалі обох питань екзаменаційного білета, не доведене до кінця рішення задачі;
- спрощений виклад необхідних математичних супроводжень;
- невпевнені, з помилками відповіді на додаткові питання;
- слабе вміння користуватися довідковою літературою.

Оцінка "незадовільно" виставляється за :

- поверхові знання обох питань екзаменаційного білета, відсутність рішення задачі;
- непослідовний виклад необхідних математичних супроводжень, допущення в ньому істотних помилок;
- невірні відповіді на додаткові питання;
- невміння користуватися довідковою літературою.

13. Методичне забезпечення

1. Рисунки, схеми, мультимедійні матеріали, методичні рекомендації

14. Рекомендована література

Основна і додаткова література

№ з/п	Автор (автори)	Назва	Видавництво, рік	К-сть екз.
1.	Куни Ф.М.	Статистическая физика и термодинамика	М.: Наука, 1981	
2.	Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.	Статистическая физика	М.:Наука, 1976	
3.	Румер Ю.Б., Рывкин М.С.	Термодинамика, статистическая физика и кинетика	М.:Наука, 1977	
4.	Радущкевич Л.В.	Курс статистической физики	М.:Просвещение, 1966	
5.	Ноздрев В.Ф. Сенкевич А.А	Курс статистической физики	М.:Вышш. школа, 1969	
6.	Гиббс Дж. В.	Термодинамика. Статистическая динамика	М.:Наука, 1982	
7.	Больцман Л.	Лекции по теории газов	М.: Гостехиздат, 1956	
8.	Боголюбов Н.Н.	Проблемы динамической теории в статистической	К.: Наукова думка, 1970	

		физике. Избр. труды		
9.	Леонтович М.А.	Введение в термодинамику. Статистическая физика	М.:Наука, 1976	
10.	Хуанг К.	Статистическая механика	М.:Мир, 1967	
11.	Кубо Р.	Статистическая механика	М.: Мир, 1967	
12.	Уленбек Дж., Форд Дж.	Лекции по статистической механике	М.:Мир, 1965	
13.	Балеску Р.	Равновесная и неравновесная статистическая механика. Т.2	М.:Мир, 1978	
14.	Базаров И.П.	Термодинамика	М.:Высш. школа, 1976	
15.	Радущкевич Л.В.	Курс термодинамики	М.:Просвещени е, 1971	
16.	Де Гроот С., Мазур П	Неравновесная термодинамика	М.:Мир, 1967	
17.		Сборник задач по теоретической физике. Уч. Пособие для вузов	М.:Высш. школа, 1972	

Доповнення і зміни у навчальній програмі на 20____ - 20____ н.р.

Викладач _____

підпис

" _____ " _____ 20____ р.

проф. Кланічка В.М.

прізвище, ініціали